جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست‌وپنج، بهار ۱۳۹۷

صص ۵۵-۳۷

DOI: 10.22067/geo.v7i1.65249

بررسی تأثیرات دیاپیریسم نمکی شرق شهرستان شاهرود، در خط آهن شاهرود- مشهد

غلامرضا مقامی مقیم[1]- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

امین نویدطلب- استادیار رسوب‌شناسی، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۹/۱۳

چکیده

دیاپیریسم نمکی فرآیندی است که در طی آن یک لایه از کانی‌های تبخیری به درون لایه‌های فوقانی نفوذ نموده سبب شکل‌گیری ناهمواری‌های ویژه‌ای می‌شود. این ناهمواری‌ها به دلیل وجود منابع نفتی، استقرار سکونت‌گاه‌های انسانی و عبور راه‌های ارتباطی اهمیت زیادی دارند. منطقه موردمطالعه که در شرق شهرستان شاهرود قرار دارد، یکی از مناطقی است که تحت تأثیر دیاپیریسم نمکی، ناهمواری‌های ویژه‌ای چون گنبدهای نمکی، درز و شکستگی، چین‌های ثانویه، کارست‌های نمکی، دره‌ها، پلیگون‌ها، یخچال‌ها، چشمه‌ها، اشکال گل‌کلمی و مخروط‌های نمکی در آن شکل‌گرفته است. دیاپیریسم نمکی از طریق تأثیرگذاری در شبکه حمل‌ونقل و به‌خصوص شبکه ریلی می‌تواند سبب مشکلات و حوادث جبران‌ناپذیر گردد. در این مقاله با استفاده از روش‌های میدانی و داده‌های سنجش‌ازدور تأثیر دیاپیریسم نمکی روی خط آهن شاهرود – مشهد حدفاصل ایستگاه شاهرود- بکران مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد خط آهن مشهد – شاهرود در محدوده شاهرود به بکران در معرض شدید مخاطرات ناشی از دیاپیریسم نمکی ازجمله ریزش سینک هول‌های نمکی، یخچال‌های نمکی، رودخانه‌های نمکی و پونورهای نمکی قرار دارد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از مطالعات کمی که به روش INH انجام شد، فروچاله‌ها و چاه‌های نمکی از گروه کارست‌های نمکی به ترتیب با ضرایب ۱/۳۷ و ۱/۵۰ دارای تأثیرات شدید، پونورها و رودخانه‌های نمکی به ترتیب با ۱/۶۲ و ۱/۷۵ در ردیف خطرات با تأثیرگذاری زیاد، یخچال‌ها، پولیگون‌ها، گنبدهای نمکی و اشکال تبخیری هر یک با ۲، طاقدیس جیلان و مخروط‌های نمکی با ۲/۴۲ دره‌ها و چشمه‌های نمکی با ۲/۱٤ دارای تأثیرگذاری متوسط و کلوت‌های نمکی با ۲/۵۷ کمترین تأثیرات را روی راه‌آهن شاهرود- مشهد دارند.

واژگان کلیدی: دیاپیریسم نمکی، خط آهن، کارست‌های نمکی، طاقدیس جیلان

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۷۲۱۲٤٦

Email: gh.maghami@du.ac.ir

۱- مقدمه

دیاپیریسم نمکی فرآیندی است که در طی آن‌یک لایه از کانی‌های تبخیری به درون لایه‌های فوقانی خود نفوذ نموده سبب شکل‌گیری ناهمواری‌های ویژه‌ای می‌شود. این ناهمواری‌ها به دلیل وجود منابع نفتی، استقرار سکونت‌گاه‌های انسانی و عبور راه‌های ارتباطی اهمیت زیادی دارند. منطقه موردمطالعه یکی از مناطقی است که تحت تأثیر فعالیت‌های شدید دیاپیریسم نمکی قرار دارد ناهمواری‌های ایجادشده توسط این فرایند توپوگرافی ویژه‌ای به آن بخشیده که این توپوگرافی تأثیرات زیادی در فعالیت‌های انسانی ازجمله خط آهن مشهد- تهران داشته و خواهد داشت (شکل ۱). به علت فعالیت بیشتر دیاپیرنمکی نسبت به سایر فرایندهای زمین ساختی این فرایند مشکلات روزمره زیادی برای مردم ایجاد می‌نماید. عدم توجه به این فرایندها در پروژه‌های عمرانی ازجمله راه‌سازی و خطوط ریلی سبب خسارات مختلف مالی و جانی جبران‌ناپذیری خواهد شد. به دلیل تأثیر دیاپیریسم نمکی در جنبه‌های مختلف زندگی انسان‌ها این فرایندها موردمطالعه محققان قرارگرفته است.



شکل ۱. عبور خط آهن تهران- مشهد از قسمت میانی سازندهای نمکی منطقه موردمطالعه

Talbot (1979) با روش‌های میدانی جابجایی نمک‌ها در جنوب ایران را مطالعه و اصطلاح یخچال‌های نمکی را برای حرکت نمک در این قسمت ایران به کاربرد. Gutiérrez (2010) تأثیر فروچاله های نمکی را روی خط آهن دره ابرو[1] در جنوب شرقی اسپانیا با استفاده از مطالعات میدانی و سنجش‌ازدور موردمطالعه قرارداد و فروچاله‌ها را خطرناک‌ترین پدیده کارستی برای خط آهن این منطقه معرفی نمود. Huuse & Harding (2015) دیاپیرهای نمکی را در کشور هلند با استفاده از روش‌های تجربی و آزمایشگاهی موردبررسی قرار داده به این نتیجه رسیدند که دیاپیرهای نمکی نقش عمده‌ای در شکل‌گیری طاقدیس‌ها و ناودیس‌های شمال این کشور داشته است. آرین و نوروز

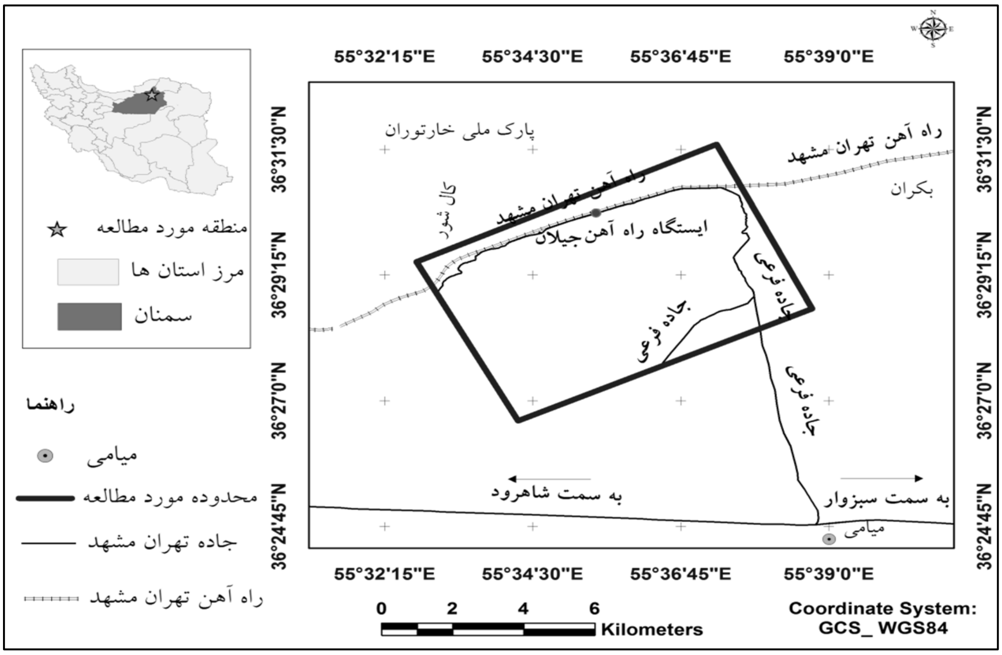
1 Ebro

پور (۲۰۱۵) با روش‌های لرزه نگاری تکتونیک نمکی در ایران را موردمطالعه قراردادند و به این نتیجه رسیدند که در شکل‌گیری گنبدهای نمکی ایران تکتونیک نقش تعیین‌کننده‌ای داشته است. رجبی (۱۳۸۷) با روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی به مطالعه گنبدهای نمکی آذربایجان پرداخت و به این نتیجه رسید که در شکل‌گیری آن‌ها فعالیت‌های تکتونیکی و چگالی نمک نقش بیشتری داشته است. زمانی (۱۳۹۲) گنبد نمکی خواجه در تبریز را مطالعه و آن را ازهرجهت برای ذخیره‌سازی منابع گاز مناسب دانست. مطالعات انجام‌شده روی گنبدهای نمکی ایران بیشتر جنبه بنیادی داشته و کمتر به جنبه‌های کاربردی آن پرداخته‌شده است. از سوی دیگر به دلیل موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی نسبتاً مناسب، بیشتر مناطقی که دیاپیریسم نمکی در آن‌ها فعال است خواسته یا ناخواسته زیرپوشش شبکه ریلی کشور قرارگرفته‌اند به دلیل توپوگرافی هموار و تأثیر زیر جلدی دیاپیریسم نمکی بسیاری از خطرات ناشی از این فرایند از دید مدیریت بحران به دورمانده و خسارات جبران‌ناپذیری خواهد داشت. خط آهن تهران – مشهد حد فاصل ایستگاه شاهرود تا بکران به‌عنوان پرترددترین مسیر ریلی کشور در معرض فعالیت شدید این فرایندها قرار دارد؛ هرچند تأثیر این فرایندها در حال حاضر چندان مشهود نیست و با تعمیرات سریع و به موقع جلوبسیاری از حوادث گرفته می‌شود و و مشکلات ناشی از آنها تأخیر چند دقیقه‌ای در حرکت قطارها نمایان می‌شود ولی در آینده ممکن است مشکلات جبران‌ناپذیری را برای خط آهن کشور در این منطقه ایجاد نماید. در این مقاله سعی بر این است تا تأثیر دیاپیریسم نمکی در خط آهن منطقه موردمطالعه به شیوه‌های پیمایش میدانی و داده‌های سنجش‌ازدور موردبررسی قرار گیرد تا از نتایج آن در پیشگیری از حوادث احتمالی ریلی در این منطقه استفاده شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه در شمال شرقی استان سمنان و شرق شهرستان شاهرود قرار دارد. این منطقه از شمال به رودخانه کال شور، از جنوب به مزارع کشاورزی شمال شهر میامی، از شرق به ایستگاه راه آن بکران و از غرب به شهر شاهرود محدود می‌گردد. ازنظر مختصات جغرافیایی بین ´۲۷ – ° ۳۶ تا ´۳۱ – ° ۳۶ شمالی و´۳۲ –° ۵۵ تا ´۳۸ –° ۵۵ درجه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرارگرفته است (شکل ۲). منطقه مورد مطالعه ۲۰ کیلومتر آر خط آهن تهران– مشهد یعنی از نزدیک ایستگاه بسطام شاهرود تا ایستگاه بکران را شامل می‌گردد. ازنظر زمین‌شناسی بیشتر سازندهای منطقه از مارن گچ دار زرد و سفیدرنگ دارای لایه‌ها و عدسی‌های نمک ساخته‌شده و سن آن مربوط به پلیوسن می‌باشد. مساحت اندکی از منطقه توسط سازندهای جدید آبرفتی پوشیده شده است. ازنظر تکتونیکی این منطقه تحت تأثیر گسل احتمالی جیلان– فراشیان در شمال و تاقدیس جیلان در مرکز می‌باشد (شکل ۲). جاده میامی– جیلان در جنوب و خط آهن تهران – مشهد در ایستگاه جیلان راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۲. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در ایران و استان سمنان

۲-۲- استخراج داده

اصل و بنیان این پژوهش بر مبنای مطالعات میدانی انجام گرفت این مطالعات باهدف شناسایی و مساحی لندفرم‌های ناشی ازدیاپیرهای نمکی، انجام شد. علاوه بر پیمایش‌های میدانی از داده‌های ماهواره‌ای نیز در سطحی وسیع استفاده گردید. این داده‌هاشامل داده‌های سنجنده +ETM، تصاویر DigitalGlobe وداده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ مترمربوط به سنجنده SRTM بود. تمامی داده‌ها نسبت به برداشت‌های صحرایی بدست آمده توسط GPS تصحیح هندسی شده است. سیستم مختصات داده‌ها، لامبرت محلی ایران LamIran در نظر گرفته شد. برای استخراج داده‌های ماهواره‌ای از ابزار Earth explorer استفاده گردید. همچنین از ابزار ArcBruTile اطلاعات Google Earth به محیط ArcGIS منتقل و به کمک ابزار Image Analysis نرم‌افزار ArcGIS عملیات بارز سازی تصاویر انجام گرفت. تهیه لایه‌های رقومی برای منطقه مهم‌ترین مرحله این پژوهش بود در این مرحله داده‌های DEM به لحاظ خطای sink به کمک افزونه Archydro در محیط ArcGIS مورد بررسی و اصلاح قرار گرفت. سپس به کمک همین افزونه لایه رقومی حوضه‌های آبریز با فرمت رستری و وکتوری تهیه شد که اولین اقدام در این زمینه تهیه لایه رقومی شبکه زهکشی بود. لایه رقومی گنبدهای نمکی و مساحت آن‌ها نیزبا تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ دیجیتال گلوب و مشاهدات میدانی انجام شد. برای انجام این کار از فیلترهای آشکارکننده لبه لاپلاس استفاده و به‌صورت کامپیوتری مرز تقریبی گنبدهای نمکی ترسیم گردید. لایه رقومی دولین ها به کمک مطالعات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای مشخص گردید. لایه رقومی مخروط‌ها و پلی‌گون‌های نمکی با تلفیق مشاهدات

صحرایی مبتنی بر GPS و انطباق آن با اطلاعات ماهواره‌ای تهیه شد. داده‌ها و اطلاعات کسب شده از روش‌های میدانی و سنجش از دور با استفاده از شاخص ارزیابی نسبی خطرات طبیعی (INH[1]) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرارگرفت. در این روش پدیده‌های نمکی منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های فاصله از خط آهن، تعداد، سرعت شکل گیری، احتمال وقوع، ایجاد پدیده‌های ثانویه، تکرار وقوع، قابلیت پیش بینی و تأثیرات زمین ساختی طبقه بندی شد سپس بر اساس اندازه گیری‌های میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای بر اساس ایجاد خطر برای خط آهن برای هریک از پدیده‌ها نمره ۱ تا ۳ درنظر گرفته شد پس از کسب اطلاعات و داده‌های مورد نیاز، تأثیر هریک از فرایندها و پدیده‌های نمکی بر راه آهن منطقه مورد مطالعه وزن دهی شد ومیزان تأثیر هریک از آنها در خط آهن مشهد – شاهرود مشخص گردید و در جدول شماره ۳ درج گردید. کلیه نقشه‌های مورد نیاز این پژوهش با کمک نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد.

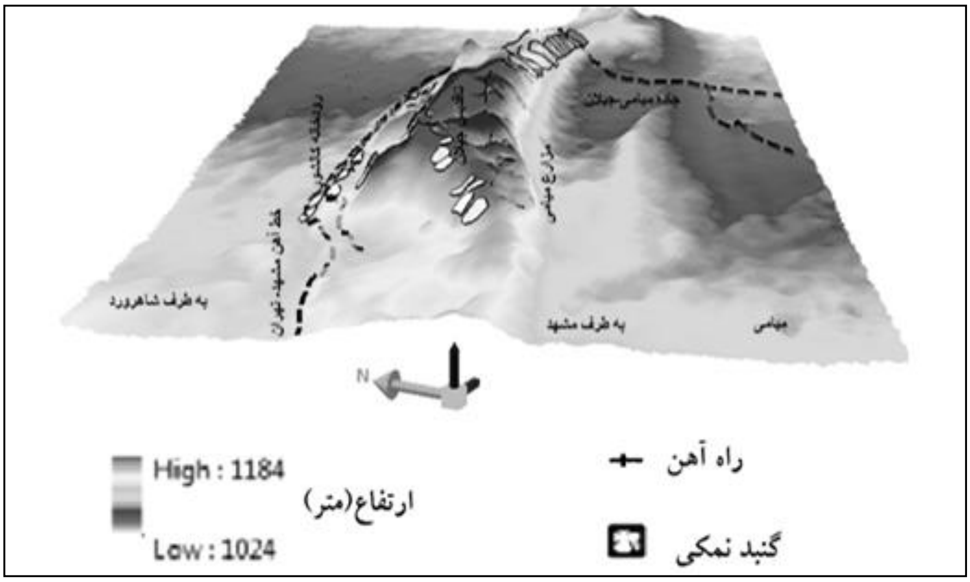
۳- نتایج و بحث

۳-۱- مکانیسم‌های تشکیل دیاپیرهای نمکی منطقه مورد مطالعه

علت‌اصلی شکل‌گیری‌گنبدهای نمکی تزریق نمک به‌سنگ‌های مجاور آن است (مدنی،۱۳۹٤). فعالیت مداوم گسل احتمالی جیلان – فراشیان در شمال منطقه باعث شکسته شدن سنگ‌های پوشاننده نمک شده است. از طریق این شکستگی‌ها، نمک بالا آمده و با ایجاد چین ثانویه درجنوب منطقه، طاقدیس نمکی جیلان به وجود آورده است (شکل ۳). علاوه بر دیاپیریسم نمکی تکتونیک نیز نقش تعیین کننده‌ای درشکل گیری گنبدهای نمکی منطقه داشته است. بالا آمدن نمک و ایجاد مناظرنمکی را تکتونیک نمکی می‌گویند (اصغری مقدم، ۱۳۸۹). در این فرایند نیروهای فشارشی و کششی به طبقات حاوی نمک نیرو وارد نموده گنبدهای نمکی را به وجود می‌آورد (ثروتی،۱۳۸۷). ازنظرتکتونیکی منطقه جزو کمربند جنوب البرزاست. سنگ‌های تبخیری ائوسن و الیگوسن بنیان سنگ شناسی این منطقه‌را تشکیل می‌دهند. منطقه مورد مطالعه نتیجه تلاقی ساختاری البرز و ایران مرکزی است.

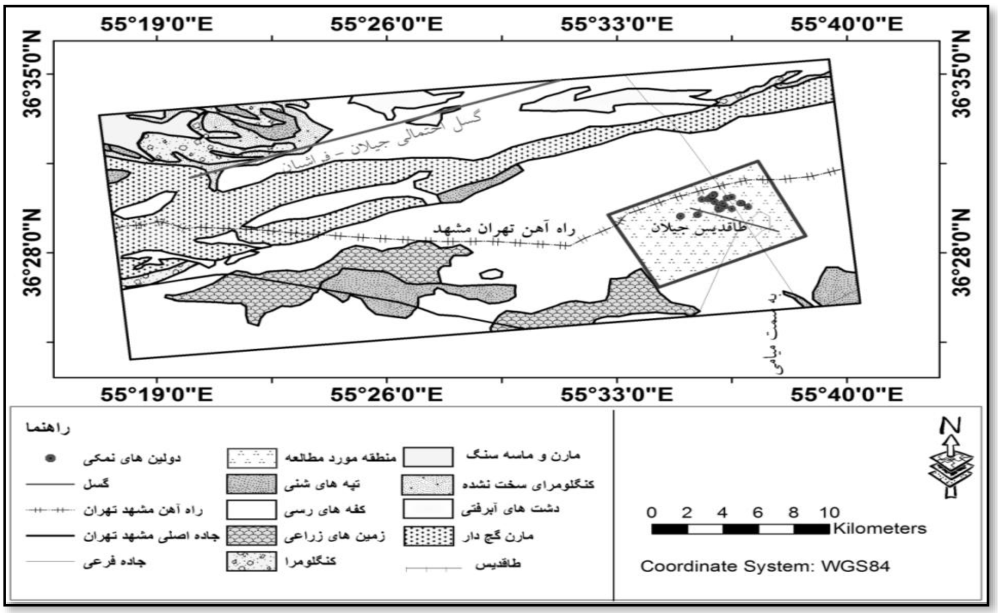
1 Indexing natural hazards

این روش یک روش جدید برای مطالعه تأثیر مخاطرات طبیعی روی فعالیت‌های انسانی است که تا به حال از سوی هیچ محققی مورد استفاده قرار نگرفته امّا معیارهای ارزیابی آن از روش Index Active Tectonics اقتباس شده است.



شکل ۳. تصویر سه بعدی از تاقدیس جیلان در مرکز منطقه مورد مطالعه منبع تصاویر ماهواره‌ای SRTM

از تلاقی این دو روند جایگاه مناسبی برای جمع شدن توده‌های تبخیری به وجود آمده و طـی چـین خـوردگی در جنوب البرز تاقدیس‌ها و گسل‌هایی شکل گرفته که تاقدیس جیلـان در قسـمت میـانی و گسـل جیلـان– فراشـیان در قسمت شمالی منطقه مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (شکل ٤). این جابجایی‌ها منجر به تزریـق نمـک از لایـه‌های زیـرین بـه رسوبات سطحی شده شکل گیری گنبدهای نمکی منطقـه را بـه دنبـال داشـته اسـت. علـاوه بـر مـوارد مطـرح شـده، نمک‌های مدفون شده در رسوبات قبل از میوسن، در اثـر دریافـت رطوبـت در دوره کـواترنر افـزایش حجـم داده بـه لایه‌های بالای خود فشار آورده، سبب شکل گیری گنبدهای نمکی شده اسـت. فراینـد فرسـایش نیـز درشـکل گیـری دیاپیریسم منطقه بی تأثیر نبوده است. رسوبات سطحی پوشاننده نمک ازجملـه ماسـه، شـن و مـارن در اثـر فرسـایش حذف شده باحذف آن‌ها مجموعه نمکی به سطح جریان یافته اشکال جالب توجهی را بوجودآورده اسـت. دو نیـروی مقاوم در برابرتشکیل دیاپیریسم وجود دارد که حذف آنهـا توسـط مکانیسـم‌های زمین‌شناسـی وعوامـل آنتروپوژنیـک سبب فعال شدن دیاپیریسم نمکی می‌گردد (زمردیان، ١٣٩٤). احداث جاده میامی– جیلان که با عبور از قسـمت میـانی تاقدیس جیلان نقش مهمی در فرسایش و عریان شدگی دیاپرهای نمکی منطقه داشـته اسـت. عریـان شـدن دیاپرهـای نمکی نشان می‌دهد که، نمک موجود درهسته اصـلی تاقـدیس جیلـان بـیش از ٤٠ تـا ٥٠ متـر ضـخامت دارد کـه در قسمت میانی منطقه بالا آمده است.



شکل ٤. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

پس از فرایند زمین ساخت و دیاپیریسم انحلال نمک در آب بیشترین نقش را در شکل گیری ناهمواری‌های نمکی داشته است. فرایند انحلال نمک در آب به صورت زیر بیان می‌شود

$$Nacl(s) \rightarrow Na^{+}_{(aq)} + Cl^{-}_{(aq)}$$

S ← جامد و aq ← آب (پوشش آبی) است.

قابلیت انحلال پذیری یک ماده در دمای معین بر حسب گرم ماده در ۱۰۰ گرم آب می‌باشد (پروین، ۱۳۷۵). جدول ۱ تأثیرانحلال ۱۰ لیتر آب خالص درانحلال برخی از سنگ‌ها را مشخص می‌کند.

جدول ۱. قدرت انحلال ۱۰ کیلوگرم آب در سنگ‌های مختلف

ردیف	نوع سنگ	میزان انحلال
۱	آهک	۰/۳
۲	سیلیس	۱/۳۲
۳	گچ	۲۵
٤	نمک طعام	۳٦۰۰

همان‌طور که در جدول مشخص است ضریب انحلال در سنگ نمک بیشتر از سایرسنگ هاست. امّا مقدار آن به تغییرات دمایی بستگی دارد به طوریکه با افزایش دمای آب، میزان انحلال نیز افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه متوسط

دمای فصول گرم سال در منطقه ۲۷ درجه سانتیگراد می‌باشد (سازمان هواشناسی:۱۳۷۵–۱۳۹۵) این درجه حرارت با افزایش دمای آب ضریب انحلال آن را افزایش می‌دهد.

۳-۲- تأثیرات دیاپیریسم نمکی بر خط آهن منطقه مورد مطالعه

۳-۲-۱- تأثیراشکال ساختمانی ناشی از دیاپیریسم نمکی بر خط آهن مشهد- شاهرود

یکی از مهم‌ترین اشکال ساختمانی ناشی از دیاپریسم نمکی در منطقه تاقدیس جیلان می‌باشد به طول تقریبی ۲۰ کیلومتر در سازندهای تبخیری منطقه شکل گرفته است. به احتمال زیاد فعالیت گسل‌های میامی در جنوب و گسل جیلان – فراشیان در شمال نقش مهمی در شکل گیری آن داشته است. ادامه فشارهای وارده از سوی گسل‌های نام برده سبب ناپایداری در ضلع شمالی این تاقدیس شده با توجه به عبور خط آهن شاهرود– مشهد از ضلع شمالی این تاقدیس ممکن است ادامه این ناپایداری‌ها سبب تکرارحوادث ثانویه چون فروچاله های ریزشی و نشست زمین در محدوده عبور راه آهن شود. گنبدهای نمکی اشکال ساختمانی دیگری می‌باشند که در اثر دیاپریسم در منطقه شکل گرفته‌اند این گنبدها نزدیک به ۲۰۰ متر از زمین‌های اطراف بلندتر هستند که به طول ٤٥ و عرض ۱۵ کیلومتر در امتداد رودخانه کالشور گسترش یافته‌اند. به دلیل فشار گسل میامی از جنوب، تاقدیس جیلان در مرکز و گسل جیلان در شمال گنبدهای نمکی منطقه در حال افزایش ارتفاع می‌باشند. این افزایش ارتفاع سبب ناپایداری‌های گسترده در سازندهای مختلف منطقه شده و ممکن است سبب وارد شدن خسارت به راه آهن شود.

۳-۲-۲- فرسایش و عریان شدگی دیاپیرسیم نمکی و تأثیرآن بر راه آهن منطقه مورد مطالعه

کلوت های نمکی مهمترین اشکال فرسایشی می‌باشند که در اثر فرسایش بادی – آبی در سازندهای نمکی منطقه شکل گرفته‌اند. در منطقه مورد مطالعه ٥ کلوت به طول تقریبی ۸ کیلومتر با جهت جنوب غربی- شمال شرقی شناسایی شد. به دلیل اینکه کلوت های نمکی منطقه بازمانده اشکال قدیمی هستند و در شکل گیری آنها علاوه بر نمک لایه‌هایی از مارن و ماسه دخالت داشته از پایه و اسکلت مستحکم‌تری برخوردارند؛ بنابراین آسیبی برای خط آهن منطقه نخواهند داشت.

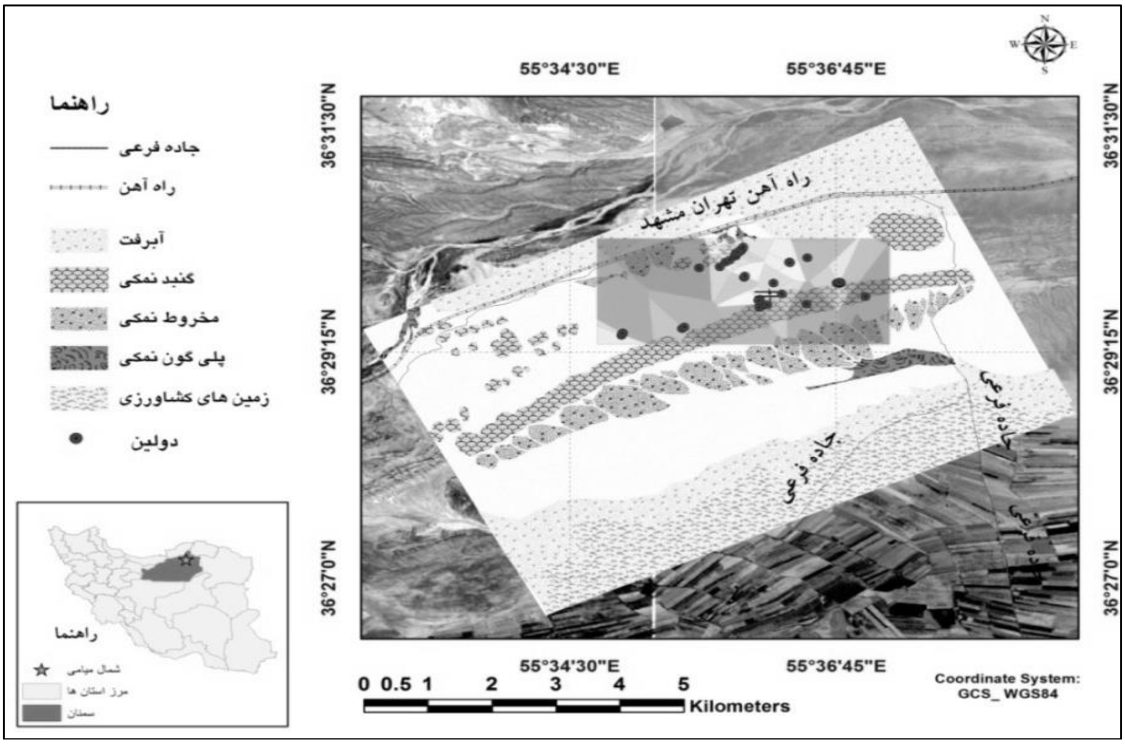
۳-۲-۳- کارست‌های نمکی منطقه و تأثیر آن در راه آهن منطقه مورد مطالعه

کارست فرایندی است که در طی آن سنگ‌های قابل انحلال در اثر آب حل‌شده و اشکال خاصی را به وجود می‌آورد. کارست‌های نمکی اغلب در بدلندهای نمکی شکل می گیرند (Wray, 1997). فروچاله های نمکی تیپیک ترین اشکال کارست نمکی منطقه محسوب می‌شوند. والتام[1] فروچاله ها را به شش نوع انحلالی، ریزشی، دارای پوشش سنگی، فرونشستی، پرشونده و دفنی تقسیم می کند (مقامی مقیم،۱۳۹٥).

1 Waltham



شکل ٥. سه نمونه از فروچاله‌های نمکی منطقه



شکل ٦. نقشه تراکم فروچاله‌ها: حداکثر تراکم فروچاله‌ها در کادر مستطیل داخل نقشه

فروچاله‌های نمکی منطقه شباهت زیادی به فروچاله های ریزشی و انحلالی دارند که در راستای طاقدیس جیلان شکل‌گرفته‌اند بنابراین ازنظر پراکندگی در ضلع شمالی منطقه تراکم بیشتری دارند (شکل ٦ و ٥). سینک هول‌های نمکی از عوامل اصلی خطر برای خط آهن محسوب می‌شوند (Gutiérrez, 2010). ازآنجایی‌که فروچاله‌ها منطقه از

نوع ریزشی[1] بوده و در اثر فروریختن ناگهانی شکل‌گرفته‌اند. با توجه به اینکه روند گسترش آن‌ها بـه سـمت شـمال و عمود بر امتداد خط آهن است (شکل ٦) احتمال وجود فروچاله های مدفون در زیر شبکه ریلی دور از انتظـار نیسـت. با توجه به اینکه فرونشست زمین یکی از ویژگی‌های مناطق کارست‌های نمکی می‌باشد.

از این‌رو احتمال فرونشست درامتداد گسترش فروچاله‌ها می‌تواند تهدیدی جدی بـرای خـط آهـن محسـوب گـردد. چاه‌های نمکی، اشکال کارستی دیگری هستند که به‌صورت حفره‌های عمودی در اثر انحلال لایـه‌های نمکـی در پولیـه های جنوبی منطقه شکل‌گرفته‌اند. قطر متوسط آن‌ها ۸ متر و عمق آن‌ها حدود ۸۰ متـر اسـت (شـکل ۷). همچنـین بـه دلیل امتداد شمالی جنوبی چاه‌های نمکی احتمال وجود و پنهان بـودن آن‌هـا در زیـرخط آهـن دور از انتظـار نیسـت. مدفون بودن آن‌ها در زیرخط آهن و احتمال سقوط آن‌ها می‌تواند برای ایـن خـط آهـن حادثه‌سـاز باشـد. پونورهـای نمکی نوعی دیگری از اشکال کارست نمکی می‌باشند که نقش عمده‌ای در انتقال آب بـه سـفره‌های زیرزمینـی دارنـد (شکل ۸). اغلب آن‌ها از نوع ترک‌های توسعه‌یافته و درزه باریک می‌باشند.



شکل ۷. یکی از چاه‌های نمکی منطقه موردمطالعه

تعداد زیاد پونورها نشان‌دهنده وجود حفره‌های زیرزمینی زیادی در تشکیلات نمکی منطقه مـی‌باشـد. ایـن پونورهـا بـا مکش آب‌های سطحی به درون زمین زمینه انحلال نمک و تشکیل حفره‌های زیرزمینی ازجمله فروچالـه هـا را فـراهم می‌نماید شناسایی بیش از ۵۰ پونور و چاه مکنده در دو طرف راه‌آهن مشـهد- شـاهرود نشـانه خطـرات بـالقوه آن‌هـا برای این خط آهن است. یکی از بزرگ‌ترین پونورهای منطقه پونوری اسـت کـه در قسـمت میـانی طاقـدیس جیلـان شکل‌گرفته و رواناب چندین آبراهه درجه ۱ و ۲ را به قسمت‌های پایین‌دست که خط آهن از آن عبور می‌کند هـدایت می‌نماید (شکل ۸).

1 collapse



شکل ۸ یکی از بزرگ‌ترین پونورهای نمکی منطقه موردمطالعه

با توجه به شیب منطقه احتمال می‌رود که مسیر عبوری آب‌های مکیده شده از زیرخط آهن عبور نماید و در اثر تردد قطار احتمال ریزش سقف مسیرهای زیرزمینی و ایجاد حوادث ثانویه برای خط آن این منطقه افزایش خواهد یافت. ریزش سقف پونورهای نمکی در برخی از پونورهای منطقه امری عادی است اما اگر این ریزش در مسیر ریلی اتفاق بیافتد خسارات جبران‌ناپذیری به بارخواهد آورد.

پولیه‌ها وسیع‌ترین اشکال کارست نمکی منطقه هستند. علل اصلی شکل‌گیری آن‌ها حرکات تکتونیکی و انحلال سنگ‌های آهکی می‌باشد (قبادی،۱۳۹۰). پولیه های منطقه از نوع پولیه های تبخیری و خشک می باشندکه در جنوب منطقه شکل‌گرفته و توسط کلوت ها از یکدیگر جدا می‌شوند. تفاوت آن‌ها با پولیه‌های آهکی در دامنه‌های کم شیب و خاک غیر حاصلخیز آن‌ها است پولیه ها به دلیل هموار بودن و شیب مناسب اغلب برای پروژه‌های عمرانی مناسب به نظر می‌رسند. امّا وجود پونورهای نمکی و چاه‌های مکنده در برخی از آنها ضریب خطرآفرینی آنها را افزایش می‌دهد.

۳-۲-٤- اشکال هیدرولوژیکی ناشی از دیاپیریسم نمکی و تأثیر آن‌ها بر خط آهن منطقه موردمطالعه

یخچال‌های نمکی مهم‌ترین اشکال هیدرولوژیکی می‌باشند که در منطقه موردمطالعه مشاهده می‌شوند. یخچال‌های نمکی به خاطر شباهت سطحی نمک به یخ به این نام شهرت دارند (رجبی و همکاران، ۱۳۸۸). حجم زیاد نمک در دره‌های شمال غربی منطقه سبب جابجایی آن‌ها در محل اتصال شاخه‌های فرعی به رودخانه کال شور شده یخچال‌های نمکی منطقه را به وجود آورده‌اند. در فصول گرم به دلیل از دست دادن رطوبت این یخچال‌ها ناپایدار شده و در حجم وسیعی جابجا می‌شوند. به دلیل شیب کم بیشتر آن‌ها در دو طرف خط آهن متراکم شده در فصول مرطوب با دریافت رطوبت افزایش حجم داده با ناپایدار ساختن زمین‌های دو طرف خط آهن برای آن مشکل‌ساز خواهند شد (شکل ۹).

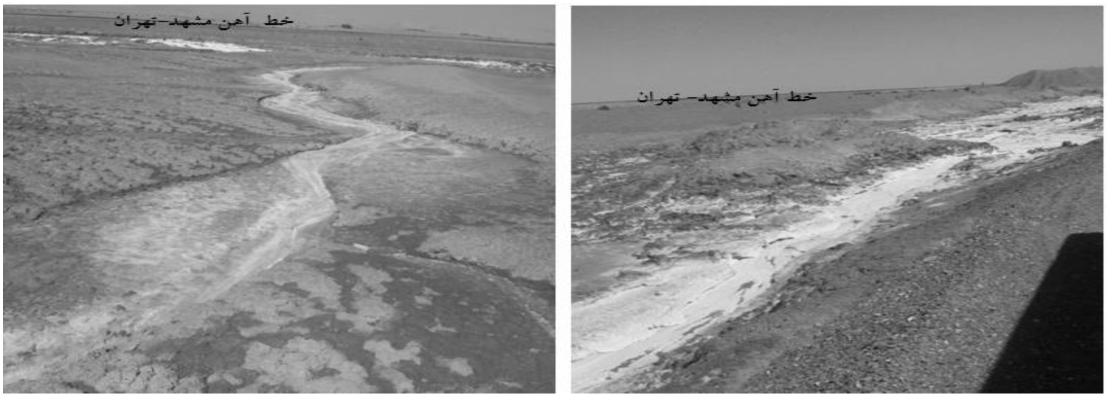


شکل ۹. تجمع یخچال‌های نمکی در دو طرف خط آهن مشهد- شاهرود

چشمه‌های نمکی اشکال هیدرولوژیکی دیگری هستند که در منطقه در سطح زمین ظاهر جاری می‌باشند آب این چشمه‌ها از طریق ارتباط پونورهای نمکی با سفره‌های کم عمق تأمین می‌شود. این چشمه‌ها نقش مهمی در انتقال نمک از اعماق به سطح و شکل‌گیری رودخانه‌های نمکی دارند. در مطالعات میدانی منطقه تعداد ۳۵ دهانه چشمه نمکی شناسایی شد که پرآب‌ترین آن‌ها در بستر و حاشیه رودخانه کال شور مشاهده می‌شوند. این چشمه‌ها به‌طور مستقیم خطری برای راه‌آهن ندارند امّا به دلیل خشک بودن منطقه ممکن است آب موجود در آن‌ها موردتوجه حیوانات اهلی مثل شتر، گله‌های گوسفند و حیوانات وحشی نظیر گورخر و یوزپلنگ قرارگرفته سبب برخورد آن‌ها با قطار شود. دره‌های نمکی اشکال هیدرولوژیکی می‌باشند که براثر نفوذ آب در گنبدها و لایه‌های نمکی و انحلال آن‌ها به وجود می‌آیند. این دره‌ها ازنظر شکل ظاهری v شکل، کوتاه و پرپیچ‌وخم و ازنظر مقدار آب، اغلب خشک و فصلی می‌باشند (شکل ۱۰). تجمع دره‌های نمکی در مارن‌ها سبب شکل‌گیری هزار دره و بدلند در منطقه شده مورفولوژی ویژه‌ای را در توپوگرافی منطقه رقم‌زده است. از به هم پیوستن دره‌های نمکی منطقه رودخانه نمکی کال شور شکل‌گرفته است. این رودخانه در شمال منطقه جریان داشته و اغلب ایام پوشیده از نمک می‌باشد. در فصل گرم بستر آن به‌صورت دره‌هایی پر از نمک مشاهده می‌شوند؛ بنابراین می‌توان آن را یک رودخانه نمکی در نظر گرفت (شکل ۱۱). این دره‌ها به دلیل شیب زیاد، پوشش گیاهی کم و رگبارهای شدید در فصل بهار به‌شدت پر آب‌شده و در اثر طغیان و وقوع سیلاب ممکن است سبب تخریب استحکامات ریلی در این قسمت گردد.



شکل ۱۰. دو نمونه از دره‌های نمکی منطقه موردمطالعه



شکل ۱۱. رودخانه نمکی کال شور

۳-۲-۵- مخروط‌های نمکی و تأثیر آن‌ها در خط آهن منطقه موردمطالعه

مخروط‌های نمکی اشکالی شبیه مخروط افکنه‌ها می‌باشند که در مناطق فعالیت دیاپیرهای نمکی شکل می‌گیرند. تعداد ۱۲ مخروط نمکی در دامنه جنوبی طاقدیس جیلان شکل‌گرفته که چهره خاصی به مورفولوژی منطقه بخشیده است (شکل ۱۲). معیار تأثیرگذار آن‌ها شکل آن‌ها هست. معیار سنجش شکل یک مخروط نخستین بار توسط Mukerji (1976) ارائه شد:

$$\text{ضریب مخروط گرایی} = \frac{\text{مساحت مخروط افکنه}}{\text{مساحت مخروط افکنه ایده آل}}$$

مخروط ایده آل نیز بر اساس (رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{مخروط ایده آل} = \frac{\pi r 2 \alpha}{360}$$

در این رابطه

π. عبارت است از عدد پی که معادل ۳,۱٤

r. عبارت است از شعاع مخروط افکنه

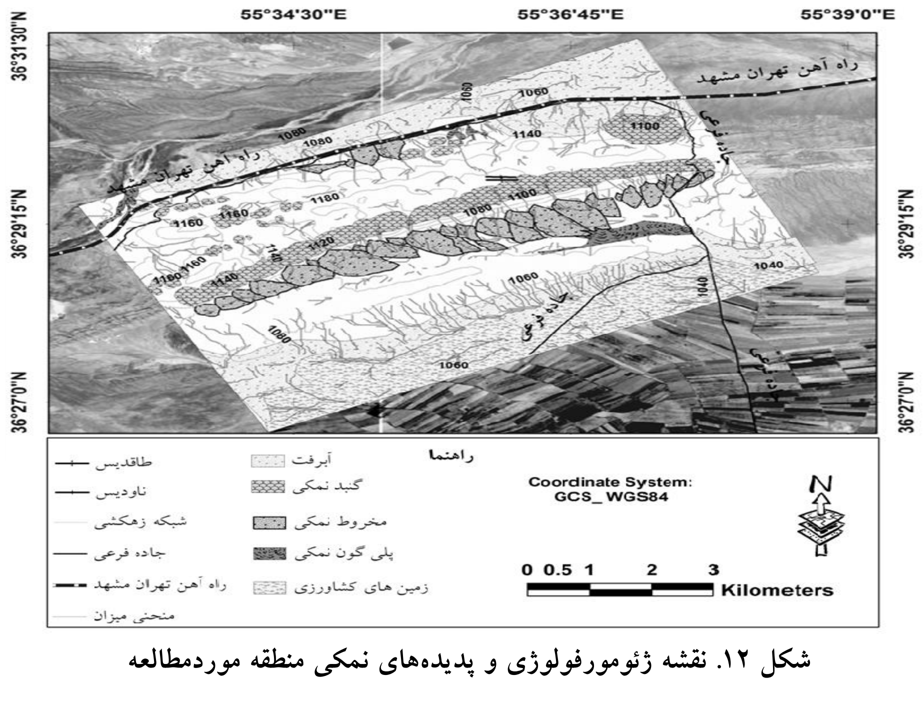
α. عبارت است از زاویه بین دو حاشیه مخروط افکنه که در محل رأس آن اندازه‌گیری می‌شود

ضریب مخروط گرایی برای یک مخروط افکنه ۱ است. اگر این ضریب در مخروط افکنه ای ۱ باشد کمتر تحت تأثیر عوامل مخرب و محدودکننده قرارگرفته به همین دلیل به شکل واقعی خود نزدیک است.

میانگین ضریب مخروط گرایی برای مخروط‌های منطقه عدد ۰/٤۳۷ به دست آمد؛ بنابراین اکثر آن‌ها ازنظر شکل با مخروط واقعی فاصله‌دارند که این امر نشان‌دهنده فعال بودن دیارهای نمکی منطقه می‌باشد. این فعالیت‌ها مانع تکامل مخروط‌های نمکی شده است. هرچند شکل مخروط‌های نمکی منطقه نشان از فعال بودن دیاپیرهای نمکی دارد امّا به دلیل انباشت آبرفت‌های نمکی و حجم زیاد این آبرفت‌ها می‌توان مخروط‌های نمکی را یکی از کم خطرترین پدیده نمکی برای راه‌آهن منطقه دانست.

۳-۲-٦- اشکال تبخیری و تأثیر آن در راه آهن منطقه موردمطالعه

اشکال گل‌کلمی مهم‌ترین اشکال تبخیری می‌باشند که در سازندهای نمکی منطقه شکل‌گرفته‌اند. این اشکال در اثر تبخیر آب اشباع‌شده از نمک در کف پولیه‌ها، مخروط‌ها، دره‌ها، مظهر چشمه‌های نمکی و بستر رودخانه کال شور مشاهده می‌شوند.



شکل ۱۲. نقشه ژئومورفولوژی و پدیده‌های نمکی منطقه موردمطالعه

جدول ۲. مشخصات مخروط‌های نمکی منطقه موردمطالعه

ردیف	مساحت مخروط (کیلومترمربع)	مساحت حوضه (کیلومترمربع)	زاویه دو حاشیه مخروط در رأس	شعاع مخروط (کیلومتر)	مخروط ایده آل	ضریب مخروط گرایی
۱	۰/۱۴۱۶۱۰	۰/۱۵۵۷۷۱	۷۵	۰/۳۱۷۹۶	۰/۴۱۱۵۹۹۷	۰/۳۴۰
۲	۰/۱۰۶۲۰۷	۰/۲۰۱۷۹۴	۱۰۰	۰/۳۸۱۵۶	۰/۶۶۵۶۱۲	۰/۱۵۹
۳	۰/۱۹۸۲۵۴	۰/۲۱۲۴۱۵	۵۶	۰/۲۵۴۳۷۵	۰/۲۴۸۴۹۶	۰/۷۹۹
۴	۰/۰۹۹۱۲۷	۰/۱۶۹۹۳۲	۷۰	۰/۲۵۲۵	۰/۳۰۸۳۳۰	۰/۳۲۱
۵	۰/۱۸۴۰۹۳	۰/۲۲۶۵۷۶	۷۴	۰/۳۱۵۶۳	۰/۴۰۷۴۳۰	۰/۴۵۱
۶	۰/۰۸۴۹۶۶	۰/۱۶۶۳۹۲	۵۵	۰/۲۵۲۵۵	۰/۲۴۲۲۵۹	۰/۳۵۱
۷	۰/۰۶۳۷۲۴	۰/۲۰۶۲۰۷	۷۰	۰/۱۲۶۲۵	۰/۱۵۴۱۶۵	۰/۴۱۳
۸	۰/۲۳۲۷۱۳	۰/۲۸۴۰۴۶	۸۰	۰/۳۷۵۶	۰/۵۲۳۳۳۳	۰/۴۴۴
۹	۰/۱۶۴۲۶۸	۰/۲۴۹۸۲۴	۷۹	۰/۲۸۱۲۵	۰/۳۸۷۵۹۳	۰/۴۲۴
۱۰	۰/۲۵۹۹۲۰	۰/۲۶۶۴۱۸	۹۰	۰/۳۱۲۵	۰/۴۹۰۶۲۵	۰/۵۳۰
۱۱	۰/۱۶۲۹۴۴	۰/۲۷۳۳۲۵	۸۰	۰/۲۸۲۷۳	۰/۳۹۴۵۶۵	۰/۴۱۳
۱۲	۰/۱۰۵۱۲۵	۰/۱۳۶۶۶۲	۶۵	۰/۱۸۲۳۴	۰/۲۰۶۷۳۰	۰/۵۱۰

تجمع این اشکال در دو طرف خط آهن مشهد– شاهرود می‌تواند در اثر دریافت رطوبت ناپایداری ایجاد نموده حادثه‌ساز شود. پلیگون‌های نمکی تبخیری چندضلعی هستند که در مناطق خشک به وجود می‌آیند (زمردیان،۱۳۹۴: ۲۱۱). ابعاد این چندضلعی‌ها در منطقه ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر می‌باشد این اشکال در اثر جذب رطوبت نرم و با از دست دادن آن تقلیل حجم می‌دهند و در اثر این تقلیل حجم زمینه برای ناپایداری منطقه فراهم می‌شود که این ناپایداری زمینه‌ساز مخاطرات زیادی برای خط آهن خواهد شد. (شکل ۱۳).





شکل ۱۳. عبور خط آهن شاهرود مشهد از میان پلیگون‌های نمکی A از جهت شمال و B از جهت جنوب

۳-۳- بررسی کمّی تأثیرات دیاپیریسم نمکی در خط آهن شاهرود مشهد

در این مرحله برای مشخص شدن میزان تأثیرات دیاپرهای نمکی در خط آهن شاهرود- مشهد از شاخص کمی INH[1] استفاده شد در این روش می‌توان با استفاده از رابطه زیر وزن و تأثیر هریک از پدیده‌های طبیعی را در فعالیت‌های انسانی بررسی و در پایان میزان تأثیرگذاری آن را مشخص نمود.

$$INH = \frac{S}{N}$$

IH= شاخص ارزیابی نسبی خطرات پدیده‌های طبیعی

S= مجموعه کلاس‌های شاخص مورد استفاده (مجموع نمرات کسب شده ۳-۱ هرشاخص)

N= تعداد شاخص‌های محاسبه‌شده

جدول ۳. میزان تأثیرگذاری دیاپیرنمکی بر خط آهن مشهد شاهرود با استفاده از شاخص INH

ردیف	شاخص / دیاپیر نمکی	فاصله از خط آهن	تعداد	سرعت شکل گیری	احتمال وقوع	ایجاد پدیده‌های ثانویه	تکرار وقوع	قابلیت پیش بینی	تأثیرات زمین ساختی	ضریب INH
۱	تاقدیس جیلان	۱	۳	۳	۳	۱	۳	۳	۱	۲/۲۵
۲	گنبدهای نمکی	۱	۱	۳	۳	۱	۳	۳	۱	۲
۳	فرو چاله‌های نمکی	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۳	۱/۳۷
٤	چاه‌های نمکی	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۳	۱/۵۰
٦	پولیه های نمکی	۱	۲	۳	۳	۱	۳	۳	۲	۲/۲۵

1 Indexing natural hazards

ادامه جدول ۳

ردیف	شاخص / دیاپیر نمکی	فاصله از خط آهن	تعداد	سرعت شکل گیری	احتمال وقوع	ایجاد پدیده‌های ثانویه	تکرار وقوع	قابلیت پیش بینی	تأثیرات زمین ساختی	ضریب INH
۷	پونورهای نمکی	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۲	۳	۱/۶۲
۸	یخچال‌های نمکی	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۳	۳	۲
۹	چشمه‌های نمکی	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۳	۳	۲/۲۵
۱۰	دره‌های نمکی	۱	۱	۳	۳	۱	۳	۳	۲	۲/۱۲
۱۱	رودخانه نمکی	۱	۳	۳	۲	۱	۱	۱	۲	۱/۷۵
۱۲	کلوت های نمکی	۱	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲/۵۷
۱۳	پولیگون های نمکی	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲
۱٤	مخروط‌های نمکی	۳	۱	۳	۳	۱	۳	۳	۱	۲/۲۵
۱۵	اشکال تبخیری	۱	۲	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۲/۱۲

اگر میزان این شاخص بین ۱ تا ۱/۵ باشد نشانه تأثیرات خیلی شدید، بین ۱/۵ تا ۲ تأثیرات زیاد، بین ۲ تا ۲/۵ تأثیرات متوسط و بیشتر از ۲/۵ تأثیرات کم خواهد بود. جدول ۲ میزان این شاخص را برای تأثیرات دیاپیرسیم نمکی بر روی خط آهن منطقه مشخص می‌کند.

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات کمّی، فروچاله ها و چاه‌های نمکی از گروه کارست‌های نمکی به ترتیب با ۱/۳۷ و ۱/۵۰ بیشترین خطر را برای راه‌آهن مشهد شاهرود دارند و در ردیف خطرات شدید قرار می‌گیرند. پونور ها و رودخانه‌های نمکی به ترتیب با ۱/٦۲ و ۱/۷۵ در ردیف تأثیرات زیاد، یخچال‌ها، پولیگون ها، گنبدهای نمکی و اشکال تبخیری هر یک با ۲ طاقدیس جیلان و مخروط‌های نمکی با ۲/٤۲ دره‌ها و چشمه‌های نمکی با ۲/۱٤ دارای تأثیرگذاری متوسط و کلوت های نمکی با ۲/۵۷ کمترین خطرات را روی راه‌آهن شاهرود- مشهد دارند.

٤- جمع‌بندی

به دلیل وجود نمک، سنگ ژیپس، مارن و رس نمک‌دار در لایه‌های زمین‌شناسی منطقه می‌توان ازنظر سنی، گنبدهای نمکی منطقه موردمطالعه را در ردیف اشکال نمکی جوان و مربوط به دوره میوسن قرارداد. سنگ‌های تبخیری ائوسن و الیگوسن بنیان لیتولوژی این منطقه را تشکیل می‌دهد. تلاقی هم‌زمان دو روند چین‌خوردگی البرز جنوبی و ایران مرکزی جایگاه مناسبی برای جمع شدن توده‌های تبخیری به وجود آورده و نمک رسوب‌گذاری شده در اثر فرایندهای مختلف در سطح زمین ظاهر و اشکال متنوع نمکی را در منطقه به وجود آورده است. در بین

فرایندهای مختلف، دیاپیریسم نمکی با تأثیرگذاری در ساختار تکتونیکی منطقه تنوع گستردهای از اشکال مختلف نمکی را در این قسمت سبب شده است. علاوه بر دیاپیریسم نمکی فعالیت‌های زمین ساختی که در اثر چین‌خوردگی در جنوب البرز رخ داد طاقدیس‌ها و گسل‌هایی شکل‌گرفته که طاقدیس جیلان در قسمت میانی و گسل احتمالی جیلان– فراشیان در شمال منطقه نقش مهمی در این زمینه داشته که براثر فعالیت آن‌ها سنگ‌بستر منطقه شکسته و با ظهور نمک گنبدهای نمکی منطقه به وجود آمده‌اند. همچنین در اثر انحلال سازندهای تبخیری منطقه اشکال کارست نمکی متنوعی به وجود آمده است. تمامی فرایندهای مطرح‌شده با فعالیت‌های خود اشکال خاصی نظیر گنبدهای نمکی، دره نمکی، سینکهول های نمکی، غارهای نمکی، پونورهای نمکی، فرو چاله‌های نمکی، رودخانه نمکی، چشمه‌های نمکی، یخچال‌های نمکی، کلوت های نمکی، پلیگون و مخروط افکنه های نمکی را به وجود آورده که این اشکال تأثیر زیادی در خط آهن شاهرود– مشهد داشته است. مطالعات کمی که با استفاده از شاخص INH انجام‌شده مشخص نمود در بین پدیده‌های مختلف، سینکهول‌ها و چاه‌های نمکی از گروه کارست‌های نمکی به ترتیب با ضریب ۱/۳۷ و ۱/۵۰ بیشترین خطر را برای راه‌آهن مشهد شاهرود دارند و در ردیف خطرات شدید قرار می‌گیرند. آثار مخرب فروچاله ها در خط آهن منطقه موردمطالعه می‌تواند به‌صورت سقوط، ریزش و رانش ناگهانی زمین و بروز حادثه در خط آهن جلوه‌گر شود. پونورها و رودخانه‌های نمکی به ترتیب با ضریب ۱/٦۲ و ۱/۷۵ در ردیف تأثیرات زیاد قرار می‌گیرند پونورها از طریق ایجاد حفره‌های زیرزمینی و رودخانه نمکی از طریق وقوع سیلاب می‌توانند برای خط آهن حادثه‌ساز شوند. یخچال‌ها، پولیگون‌ها، گنبدهای نمکی و اشکال تبخیری هر یک با ضریب ۲ طاقدیس جیلان و مخروط‌های نمکی با ضریب ۲/٤۲ دره‌ها و چشمه‌های نمکی با ضریب ۲/۱٤ دارای تأثیرگذاری متوسط هستند و کلوت‌های نمکی با ضریب ۲/۵۷ کمترین تأثیرات را روی راه‌آهن شاهرود– مشهد دارند.

منابع

اصغری مقدم، محمدرضا؛ ۱۳۸۹. دیباچه‌ای بر ژئومورفولوژی ایران. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.

پروین، حسین؛ ۱۳۷۵. رسوب‌شناسی. انتشارات دانشگاه پیام نور.

ثروتی، محمدرضا؛ ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی منطقه‌ای ایران. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

رجبی، معصومه؛ شیری طرزم، علی؛ ۱۳۸۸. تکتونیک نمکی و آثار ژئومورفولوژیکی آن در آذربایجان، مطالعه موردی گنبدهای نمکی شمال غرب تبریز. فصلنامه جغرافیا و توسعه، شماره ۱٦، ٤۷–۷۰.

زمانی، بهروز؛ جلیل پور، محمد؛ مؤید، محسن؛ فریدی، محمد؛ ۱۳۹۳. بررسی ساختاری گنبد نمکی خواجه در شمال خاور تبریز باهدف ارزیابی امکان‌پذیری ذخیره‌سازی گاز و مدل‌سازی تحلیلی دیاپیریسم. نشریه علوم زمین، شماره ۹٤، ۲۱۷–۲۲٦.

زمردیان، محمدجعفر؛ ۱۳۹۲. ژئومورفولوژی ایران، فرایندهای اقلیمی و دینامیک‌های بیرونی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

زمردیان، محمدجعفر؛ ۱۳۹٤. مبانی‌ژئومورفولوژی (۲) کلیماتیک ژئومورفولوژی، ژئومورفولوژی اقلیمی و دینامیک بیرونی. انتشارات جهاددانشگاهی مشهد.

سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میامی.

سایت هواشناسی استان اردبیل: www.ardebilmet.ir .

عفیفی، محمدابراهیم؛ قنبری، عبدالرسول؛ ۱۳۸۸. بررسی جاذبه‌های ژئوتوریستی گنبدهای نمکی لارستان مطالعه موردی گنبد نمکی کرموستج. جغرافیای طبیعی، شماره ٦، ۳۱-٤۸.

قبادی، محمدحسین؛ ۱۳۹۰. زمین شناسی مهندسی کارست. انتشارات بوعلی سینای همدان.

مدنی، حسن؛ ۱۳۹٤. زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک. انتشارات جهاد دانشگاهی اصفهان.

مقامی مقیم، غلامرضا؛ ۱۳۹۵. طبقه‌بندی اشکال کارستی حوضهٔ درپرچین براساس مدل‌های سویچ، والتهام، هراک و کماتینا. جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۲٦، ۲۰۷-۲۲۳.

Arian M, Noroozpour H., 2015. Tectonic Geomorphology of Iran’s Salt Structures. Open Journal of Geology 5: 61-72.

Gutiérrez F., 2010. Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. Cambridge University Press, Cambridge.

Harding R, House M., 2015. Salt on the move: Multi stage evolution of salt diapirs in the Netherlands North Sea. Marine and Petroleum Geology 61: 39-55.

Mukerji AB., 1976. Terminal fans of inlands streams insutlej-yamuna plain, India. Zeitschrift fur Geomorphologie 20: 190-204.

Talbot J., 1979. Flood train in a glacier of salt in southern Iran. Journal of Structural Geology 1: 5-18.

Wray RAL., 1997. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. Earth Science Reviews 42: 137-160.